

Hybridní pohon posunovací lokomotivy

prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc., Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D., Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě, Ing. Zdeněk Novák, Fakulta strojní ČVUT v Praze, Ústav přístrojové a řídicí techniky

Článek prezentuje vývojový proces hybridního pohonu pro posunovací lokomotivu. Je použit sériový hybridní pohon. V článku je uveden popis koncepce lokomotivy, popis koncepce hybridního pohonu a jsou prezentována specifika akumulátorového a nabíjecího systému pro hybridní pohon.

1. Úvod

Jak je zřejmé z trendů vývoje dopravních systémů a techniky, stojí v současnosti silniční doprava na prahu zásadních změn v důsledku nastartování přechodu od pohonů spalovacími motory k pohonům elektrickým s širokými souvislostmi v oblasti dopravních prostředků, infrastruktury i energetiky. V železniční dopravě je situace odlišná. Přechod k elektrické dopravě zde byl ve větší míře zahájen již v 50. letech 20. století v souvislosti s ukončováním provozu parních lokomotiv a v současnosti v Evropě spočívá těžiště přepravních výkonů na železnici na závislé elektrické trakci. I v ČR, kde je elektrifikována přibližně třetina železničních tratí, je zajišťována výrazně nadpoloviční část dopravních výkonů v osobní i nákladní železniční dopravě závislou elektrickou trakcí. Stejně jako v silniční dopravě je i v železniční dopravě připravován další nárůst podílu využití elektrické energie. To bude zprostředkováno jednak další elektrifikací železničních tratí, ale i nástupem akumulátorového napájení železničních vozidel.

V osobní dopravě se v případě akumulátorového napájení jeví jako nejvýhodnější uplatnění dvouzdrojových elektrických jednotek s kombinovaným napájením z troleje a z akumulátorů. Takovéto řešení je v současnosti běžně využíváno v trolejbusové dopravě, vozidlo je zčásti vedeno v trase s trolejovým napájením, kdy se využije možnost nabíjení akumulátorů bez dodatečných požadavků na čas, v neelektrifikovaném úseku vozidlo využívá akumulátorové napájení. Uplatnění tohoto principu je na železnici velmi výhodné díky stále se rozšiřující elektrifikaci, kdy je trolejové vedení využíváno i jako nabíjecí infrastruktura. Dvouzdrojové železniční jednotky pro osobní dopravu jsou v Japonsku provozovány v běžném provozu od roku 2013, v Evropě jsou v současnosti tato vozidla připravována významnými výrobci kolejové techniky, např. společnostmi SIEMENS, Alstom, Bombardier, Stadler, v ČR firmou ŠKODA Transportation.

Další oblastí železničního provozu, kde je velký potenciál pro uplatnění vozidel s aku-

mulátorovým napájením, je posunovací služba. Tento režim provozu je v případě diesellového vozidla nesmírně neefektivní. Při posunu se střídají časté rozjezdy s opakovaným zastavováním, nezanedbatelné jsou dále časové intervaly, kdy vozidlo stojí a spalovací motor je provozován ve volnoběhu. Průměrný výkon odebíraný z hnací jednotky dieselelektrické posunovací lokomotivy dosahuje hodnot okolo 10 % jmenovité hodnoty výkonu spalovacího motoru, relativně



Obr. 1. Akumulátorová posunovací lokomotiva A219 v roce 2016 v Jihlavě

výkonný spalovací motor je tak provozován s velmi nepříznivou měrnou spotřebou paliva a neúměrnými emisemi škodlivin. Vesměs zde nejde o nové informace, rozbor této problematiky lze dohledat např. v literatuře [1]. Z uvedených důvodů byla již na konci 80. let 20. století v pražském ČKD vyvinuta čtyřnápravová hybridní posunovací lokomotiva řady 718 s NiCd akumulátory s kapacitou 172 kW·h, kde byla zajištěna součinnost spalovacího motoru a akumulátorů. To umožnilo použít menší spalovací motor s výkonem 190 kW, přičemž s přispěním akumulátoru lokomotiva dosahovala trakčního výkonu až 600 kW. Lokomotiva byla poměrně úspěšně testována, avšak k sériové výrobě nedošlo, nepochybně i z důvodu menší ekonomické i environmentální motivace v době vzniku lokomotivy, ale i z důvodu méně efektivních technologií tehdejších elektrochemických akumulátorů.

Další kapitolu akumulátorového napájení posunovacích lokomotiv v ČR představuje dvounápravová lokomotiva A219, opět z pražského ČKD (obr. 1). Jde o čistě akumulátorovou lokomotivu s olověnými akumulátory s kapacitou 192 kW·h. Lokomotiva byla

vyrobená v druhé polovině 90. let 20. století. Sériově opět nebyla vyráběna, a to z obchodních a ekonomických důvodů. Vyrobená lokomotiva byla úspěšně využívána ve vlečkové službě a je dosud provozována.

Z uvedených důvodů existuje v současnosti v návaznosti na rychlý rozvoj technologií akumulátorového napájení dostatečná motivace pro podstatné zefektivnění konstrukce posunovacích lokomotiv nezávislé trakce cestou hybridizace pohonného řetězce nebo s využitím čistě akumulátorového

napájení. Posunovací lokomotivy mají zpravidla velmi rozmanitý a nepravidelný pracovní režim (posun v osobní dopravě, posun v nákladní dopravě, posun v průmyslových areálech s vazbou na technologické operace, různé druhy vlečkového provozu) a není zde mnohdy zcela jednoznačná predikce energetické spotřeby a dimenzování akumulátoru. Nejsou-li v konkrétní aplikaci předpoklady k dosažení potřebné kapacity akumulátorové baterie pro čistě akumulátorovou verzi lokomotivy nebo při požadavcích na velkou univerzálnost vozidla, je řešením hybridní pohon s kombinací spalovacího motoru a akumulátoru, v současnosti však převážně s preferencí elektrického napájení, což i rozšiřuje možnosti využití lokomotivy v provozech s vysokými požadavky na čistotu provozu – např. uvnitř výrobních hal.

Hybridní posunovací lokomotivy byly ve světovém měřítku vyvinuty již v několika typech, namátkou lze jmenovat čtyřnápravové lokomotivy typu HD 300 firmy Toshiba, čtyřnápravovou lokomotivu BR 203H s elektrickou výzbrojí firmy Alstom nebo kanadskou čtyřnápravovou lokomotivu Railpower GG20B.

Firma CZ LOKO, a. s., je v ČR významným výrobcem dieselelektrických lokomotiv pro posunovací i traťovou službu. Při zvyšování konkurenceschopnosti a atraktivity sortimentu a zejména v návaznosti na moderní trendy v technologiích trakčních pohonů přistoupila firma k vývoji stavebnicové konstrukce hybridní lokomotivy. Nejde o první hybridní technologii z produkce CZ LOKO, a. s., firma již realizovala dodávku šestnápravové hybridní lokomotivy pro rus-

kého zákazníka, kde byl použit pohon spalovacím motorem s krátkodobým zvýšením dodávky energie ze superkapacitorů při rozjezdech a s možností akumulace energie při brzdění.

Nově vyvíjený prototyp hybridní lokomotivy z produkce CZ LOKO, a. s., má odlišnou koncepci. Jde o dvounápravovou lokomotivu, která kombinuje využití spalovacího motoru a lithiových trakčních akumulátorů. Konstrukce lokomotivy je modulární v mechanické i elektrické části tak, aby bylo možné použít hlavní konstrukční uzly i v jiných variantách, např. při konstrukci čtyřnápravové lokomotivy nebo v případě lokomotivy s čistě akumulátorovým napájením.

Vývoj prototypu nové dvounápravové posunovací lokomotivy z produkce CZ LOKO, a. s., je podpořen z programu TRIO Ministerstva obchodu a průmyslu. Kromě firmy CZ LOKO, a. s., se v rámci projektu na vývoji lokomotivy podílí firma MSV ELEKTRONIKA a Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera. Na vývoji se podílejí i další subjekty jako subdávatelé. Univerzita Pardubice odpovídá zejména za koncepční práce včetně simulačních výpočtů, návrhy algoritmů řízení technologií svázaných s akumulátorovou výzbrojí a spolupracuje při oživování, testech a zkouškách hybridního pohonu. Co se týče těchto aktivit, spolupracuje také s ČVUT v Praze jako subdávatelem některých implementací softwaru.

2. Koncepce lokomotivy

Prototyp vyvíjené hybridní lokomotivy představuje vozidlo pro univerzální posunovací a vlečkovou službu. Ve firmě CZ LOKO, a. s., byla v dřívější době vyvinuta dieselelektrická varianta lokomotivy, označená řadou 719, která byla určena pro srovnatelný provozní režim a měla i obdobnou koncepci mechanické části a zčásti i pohonného řetězce (obr. 2). Cílem vývoje hybridní lokomotivy je realizace vozidla pro srovnatelné provozní nasazení, avšak s lepšími parametry trakčními, energetickými, environmentálními a z hlediska provozu i ekonomickými. V následující tabulce jsou pro srovnání uvedeny hlavní parametry lokomotivy řady 719 a hybridní lokomotivy.

Z tab. 1 je zřejmá podobnost koncepcí obou lokomotiv. U hybridní lokomotivy je však použit spalovací motor s výrazně nižším výkonem a místo alternátoru s rotorovým budícím vinutím a budičem synchronní generátor s permanentními magnety. Ušetře-

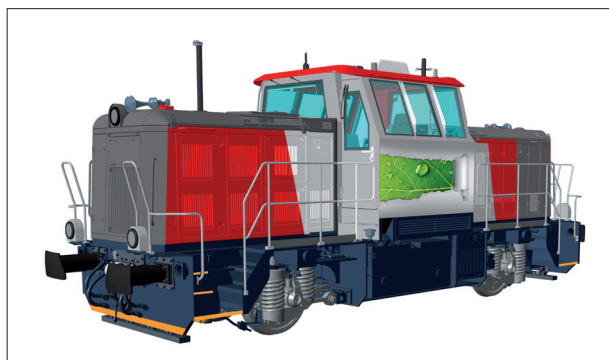
ný prostor a hmotnost jsou využity pro instalaci akumulátorového systému a nabíjecího měniče. Celkový vnější design hybridní lokomotivy je zřejmý z obr. 3.

3. Návrh koncepce hybridního pohonu

Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice se při vývoji lokomotivy významně podílela na tvorbě koncepce elektrické výzbroje. V této oblasti bylo nutné



Obr. 2. Dieselelektrická lokomotiva řady 719



Obr. 3. Hybridní lokomotiva z produkce CZ LOKO, a. s. [4]

rozhodnout o řešení mnoha obvodových struktur a komponent tak, aby bylo navrženo řešení optimální jak z hlediska trakčních a provozních vlastností, spolehlivosti, dostupnosti komponent, tak i z hlediska technologie výroby a ceny.

Koncepci elektrické výzbroje bylo nutné stanovit zejména v těchto oblastech:

- určení struktury hybridního pohonu,
- určení strategie řízení s vazbou na dimen-

zování hlavních komponent,

- volba akumulátorů energie,
- způsob připojení akumulátorů do pohonného řetězce,
- určení typu generátoru a usměrňovače.

Z hlediska struktury připadá v úvahu obecně hybridní pohon sériový, paralelní nebo sériově paralelní. Byla stanovena jednoznačně sériová struktura pohonu. Tato struktura je nejvhodnější pro vozidla, jejichž provozní režim se vyznačuje významnou nerovnoměrností z hlediska rychlosti a tažné síly včetně častých přechodů mezi jízdním a brzdícím režimem. V sériovém hybridním pohonu je spalovací motor oddělen od trakčního pohonu, a proto se nerovnoměrnosti jízdního režimu nepřenesou na provoz spalovacího motoru a také se eliminují jeho přechodové stavy se sníženou účinností a zvýšenými emisemi škodlivin. Výhodou sériové struktury v dané aplikaci je navíc relativně přímý přechod od standardní struktury pohonu dieselelektrické lokomotivy s možností využít několik osvědčených komponent a konstrukčních uzlů ve firmě CZ LOKO, a. s.

Efektivita hybridizace posunovací lokomotivy je ve velké míře závislá i na strategii řízení výkonových toků v pohonu s vazbou

na dimenzování komponent. Zde je možné volit strategii, kdy jde o doplnění elektrických akumulátorů do dieselelektrické lokomotivy s cílem zlepšit trakční parametry a energetiku provozu při rozjezdech a brzdění, nebo strategii s rovnocennou pokročilou součinností spalovacího motoru a akumulátorů elektrické energie a nebo o strategii, kdy v podstatě jde o vozidlo s plnohodnotným aku-

mulátorovým napájením, kde je doplněna zdrojová nabíjecí část zahrnující spalovací motor, generátor a přírůbovací měnič. V případě předmětné hybridní lokomotivy byla stanovena koncepce vozidla s plnohodnotným akumulátorovým napájením s doplněním nabíjecího zdroje akumulátorů – spalovacího motoru s generátorem a měničem a s odpovídajícím dimenzováním trakčního akumulátoru.

Tab. 1. Srovnání hlavních parametrů lokomotivy dieselelektrické a hybridní

Lokomotiva	řada 719	hybridní
Služba	posunovací a vlečková	posunovací a vlečková
Přenos výkonu	dieselelektrický	hybridní pohon
Uspořádání	Bo	Bo
Trakční motory	asynchronní 2 × 366 kW	asynchronní 2 × 366 kW
Výkon spalovacího motoru	403 kW	129 kW
Rozchod	1435 mm	1435 mm
Maximální rychlost	80 km·h ⁻¹	80 km·h ⁻¹
Hmotnost	44 t	přibližně 44 t
Elektrodynamická brzda	odporová	rekuperační (AKU) + odpor

Důvody volby tohoto řešení jsou následující:

- spalovací motor a generátor jsou dimenzovány na relativně malý výkon vzhledem k trakčnímu výkonu (přibližně třetina), snižují se tím požadavky na prostor,
- je umožněn plnohodnotný provoz lokomotivy při čistě akumulátorovém napájení – eliminace volnoběhu spalovacího motoru, možnost bezemisního provozu, efektivní rekuperace,
- provoz spalovacího motoru je jen v optimálním pracovním bodě s minimální měrnou spotřebou paliva a minimálními emisemi,
- koncepce elektrické výzbroje umožňuje realizaci čistě akumulátorové varianty.

s permanentními magnety jediným řešením, které navíc zajišťuje dobrou dynamiku regulace nabíjecího proudu baterie.

Celková struktura trakční výzbroje lokomotivy je zřejmá z blokového schématu na obr. 4. Centrálním uzlem trakční výzbroje je stejnosměrný meziobvod, na který je paralelně připojena trakční akumulátorová baterie. Ze stejnosměrného meziobvodu je napájena dvojice trakčních střídačů pro trakční asynchronní motory. Unifikované trakční motory 2×366 kW nebudou v dané aplikaci výkonově zcela využity, neboť celkový trakční výkon lokomotivy je 350 kW. Ze stejnosměrného meziobvodu jsou dále napájeny obvody pomocných spotřeb lokomotivy. Při potřebě nabíjení trakčního akumulátoru je spuštěn

psaný rozsah provozních teplot okolí -40 až $+50$ °C. Tento rozsah klade zvýšené nároky na uvedení lokomotivy do provozu při záporných teplotách, kdy není možné akumulátor nabíjet, při nejnižších teplotách ani vybíjet. Při vyšších teplotách je naopak nutné omezovat nabíjecí proud a výkon.

Akumulátorovou baterii lze provozovat v definovaném rozmezí aktuální kapacity a nabíjecích a vybíjecích proudů. Řízení a diagnostiku akumulátorové baterie zajišťuje bateriový management ve spojení s řídicím systémem lokomotivy včetně automatického řízení zapínání a vypínání nabíjecího zdroje – spalovacího motoru, generátoru a pulzního usměrňovače.

5. Specifika návrhu nabíjecího systému

Hlavním akčním členem nabíjecího systému hybridní lokomotivy je pulzní usměrňovač tvořený třífázovým tranzistorovým můstkem. Spolu se spínačem brzdového odporu jde o blok, který ve velké míře řídí výkonové toky v pohonném řetězci. Pulzní usměrňovač je řešen v progresivní technologii SiC výkonových spínacích prvků a pracuje se spínací frekvencí 30 kHz. Nezbytnou součástí výkonového obvodu je sinusový filtr, který na střídavé straně měniče odstíjí nežádoucí vlivy spojené s velkými strmými napětí, se kterými pracují prvky SiC – 30 000 až 50 000 V/μs. Sinusový filtr zejména zajišťuje eliminaci přepětových špiček v obvodech připojených k pulznímu usměrňovači a celkovou eliminaci rušivých vlivů spojených s elektromagnetickou kompatibilitou. Zároveň toto řešení poskytuje téměř sinusová napětí a sinusové proudy na střídavé straně pulzního usměrňovače.

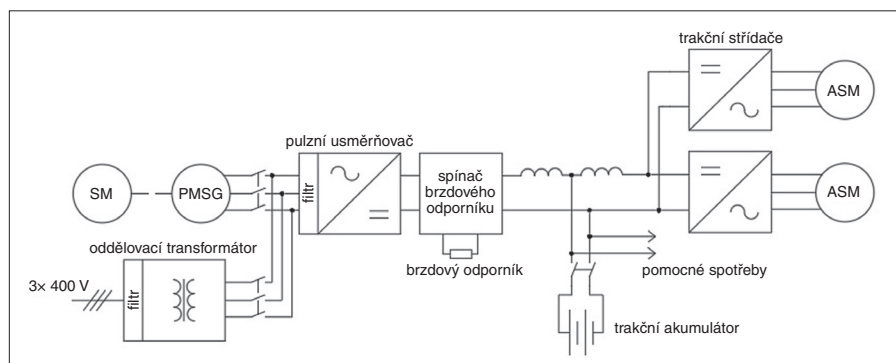
Pulzní usměrňovač se spínačem brzdového odporu představují integrovanou výkonovou říditelnou jednotku, která umožňuje provoz pohonného řetězce v několika módech, které se podstatně odlišují jak po stránce provozního režimu lokomotivy, tak po stránce technického řešení řízení integrované měničové jednotky v jednotlivých módech.

Jednotlivé módy provozu integrované měničové jednotky jsou následující:

Mód nabíjení trakční akumulátorové baterie z alternátoru poháněného spalovacím motorem – struktura řízení vychází z principů vektorové regulace synchronního stroje v generátorickém režimu.

Mód nabíjení trakční akumulátorové baterie ze síťové přípojky 3×400 V/50 Hz přes síťový EMC filtr a oddělovací transformátor – struktura řízení vychází z principů regulace pulzního usměrňovače se synchronizací na síťové napětí a říditelným účinníkem.

Novou režim – mód, při kterém je odstavena trakční akumulátorová baterie, kdy jde o strukturu standardního dieselelektrického přenosu výkonu, v případě hybridní lokomotivy však s omezeným trakčním výkonem daným malým výkonem spalovacího motoru a s regulací momentu synchronního



Obr. 4. Blokové schéma trakční výzbroje hybridní lokomotivy

Jako akumulátor elektrické energie je specifikována baterie z článků Li-NMC. Jde o moderní technologii, která se vyznačuje vysokou měrnou kapacitou (150 až 200 Wh/kg), dostatečnou výkonovou zatížitelností (zatížitelnost proudu 2 až 3 C) a dostatečnou životností (2 000 až 4 000 nabíjecích cyklů v závislosti na provozních podmínkách). Kapacita baterie je 120 až 150 kWh (v závislosti na provozním režimu), což umožňuje využití plného trakčního výkonu lokomotivy 350 kW při čistě akumulátorovém napájení.

Akumulátorová baterie je připojena přímo do stejnosměrného meziobvodu. Toto řešení sice nezajišťuje stálou hodnotu napětí ve stejnosměrném trakčním meziobvodu v důsledku kolísání svorkového napětí lokomotivy v závislosti na stavu nabití a okamžitém proudu, odpadá tím však nutnost dalšího přizpůsobovacího měniče s pozitivními dopady na rozměry a cenu výzbroje a účinnost přenosu výkonových toků.

Pro nabíjení trakční baterie bylo zvažováno použití synchronního generátoru s permanentními magnety nebo s budicím vinutím či asynchronního generátoru. Bylo rozhodnuto použít synchronní generátor s permanentními magnety zejména z důvodu příznivých rozměrů a pohotovosti k provozu díky stálému magnetickému toku. Výstupní svorky generátoru jsou připojeny na vstup pulzního usměrňovače, který dodává do stejnosměrného trakčního meziobvodu proud pro nabíjení trakčního akumulátoru. Použití pulzního usměrňovače bylo v případě generátoru

spalovací motor, který pohání generátor napájející přes pulzní usměrňovač stejnosměrný meziobvod nabíjecím proudem. Kromě generátoru je možné zajistit nabíjení trakčního akumulátoru ze síťové přípojky sníženým výkonem. Pulzní usměrňovač v tomto případě pracuje jako síťová nabíječka.

Ve stejnosměrném meziobvodu je rovněž zařazen brzdový odporník se spínacím tranzistorem. Je předpoklad využívat odporové brzdění při přebytku brzděného výkonu – buď při plné kapacitě trakčního akumulátoru, nebo v případě, kdy je trakční akumulátor limitován velikostí nabíjecího výkonu a část výkonu elektrodynamického brzdění je nutné zmařit v brzdovém odporníku. Strategie řízení elektrodynamické brzdy lokomotivy je navržena tak, aby se maximum brzděného výkonu vždy využilo k nabíjení akumulátorové baterie.

4. Specifika návrhu akumulátorového systému

Již bylo uvedeno, že je použit trakční akumulátor na bázi článků Li-NMC. Akumulátorový systém je vyvinut přímo pro danou aplikaci hybridní lokomotivy a kromě všech potřebných funkcí musí splňovat specifické požadavky drážní legislativy. Jde zejména o požadavky spojené s mechanickou odolností, bezpečností a EMC. Akumulátorový systém je vybaven topením a chlazením pro udržování teploty prostoru s akumulátorovými články, neboť lokomotiva má přede-

This paper presents the development process of shunting locomotive hybrid drive. The serial hybrid drive is used. The article describes the concept of the locomotive, the concept of the hybrid drive, accumulator system and the charging system for traction battery.

generátoru a regulací napětí stejnosměrného meziobvodu.

Mód pro zkoušku zatížení spalovacího motoru s řízením výkonu pomocí spínače brzdového odporu.

Mód předeřevu trakční akumulátorové baterie z generátoru poháněného spalovacím motorem – mód obdobný nouzovému režimu, avšak s vyloučením odběru trakčního výkonu.

Řízení technologií lokomotivy je distribuované. Hlavní řídicí jednotkou je nadřazený řídicí systém lokomotivy, který disponuje maximem kompetencí, ale také maximem odpovědností, má tedy kompletní přehled o stavu technologií lokomotivy.

Po sběrnicích CANbus komunikuje nadřazený řídicí systém s těmito podřazenými řídicími členy:

- regulátory měničů trakčních pohonů,
- řídicí jednotka zdrojového bloku pomocných spotřeb,
- bateriový management trakční akumulátorové baterie,
- regulátor integrované měničové jednotky pulzního usměrňovače a spínače brzdového odporu,
- regulační jednotka spalovacího motoru.

Na vývoji softwaru pro regulátor integrované měničové jednotky pulzního usměrňovače a spínače brzdového odporu se podílí Dopravní fakulta Jana Pernera Univerzity Pardubice na úrovni analýzy a návrhu regulačních algoritmů a ČVUT v Praze, Fakulta strojní, jako subdodavatel na implementační úrovni. Jako regulátor je použit systém sBRIO 9607 s přídatnou kartou NI 9684 pro řízení výkonových měničů od firmy National Instruments, regulátor sBRIO je programován v grafickém prostředí LabVIEW. Algoritmy regulačních struktur s velkými požadavky na rychlost výpočtů jsou vykonávány v hradlovém poli FPGA regulátoru, algoritmy nadřazené úrovni řízení s menšími požadavky na rychlost, zejména stavový automat, komunikace s nadřazeným řídicím systémem a diagnostické, ochranné a ladicí funkce, jsou vykonávány v procesoru regulátoru.

6. Závěr

Vývíjená hybridní lokomotiva má v ČR i v sortimentu výrobků firmy CZ LOKO, a. s., několik prvenství. Jde o první hybridní lokomotivu moderní koncepce s Li-Ion trakční akumulátorovou baterií a střídavými trakčními i pomocnými pohony vyrobenou v ČR. Ve firmě CZ LOKO, a. s., jde o první vozidlo, kde je v trakčním řetězci použit synchronní generátor s permanentními magnety a pulzní usměrňovač. Je to první železniční vozidlo v ČR, v jehož trakčním řetězci je použit

výkonový měnič na bázi prvků SiC – pulzní usměrňovač. Použití těchto nových technologií vyžaduje značnou šíři aktivit ve vývojovém procesu při spolupráci mnoha subjektů a subdodavatelů, konstrukce drážního vozidla navíc podléhá rozsáhlé legislativě.

V současnosti se dokončuje stavba lokomotivy, převážně v druhém pololetí roku 2019 jsou plánovány rozsáhlé oživovací zkoušky a testy lokomotivy. Po těchto zkouškách bude zahájen schvalovací proces vozidla s cílem zahájit zkušební provoz. Cílem zkušebního provozu je nejen prověření vlastností nového typu vozidla, ale rovněž posuzování přínosů hybridizace pohonného řetězce z hlediska úspor pohonných hmot a provozních nákladů. Na základě simulačních výpočtů, prováděných na Univerzitě Pardubice, je předpoklad dosažení úspor pohonných hmot 20 až 30 % v posunovací službě oproti srovnatelné dieselelektrické lokomotivě, a to v důsledku eliminace volnoběhu spalovacího motoru, provozu spalovacího motoru v optimálním režimu a rekuperace. Kromě těchto přínosů se bude lokomotiva vyznačovat čistším a tišším provozem, přínosy hybridizace dále vzrostou při maximalizaci podílu nabíjení trakční akumulátorové baterie ze síťové přípojky.

V automobilovém průmyslu je evidentní, že firmy, které se nevěnují vývoji v oblasti hybridních a elektrických vozidel, budou ztrácet konkurenceschopnost. Obdobné trendy jsou zřejmé i v oblasti drážních vozidel nezávislé a polozávislé trakce a je jistě pozitivní, že tyto trendy respektuje vstupem do hybridních technologií i největší výrobce drážních vozidel nezávislé trakce v ČR, firma CZ LOKO, a. s.

Poděkování

Příspěvek vznikl za podpory projektu MPO TRIO č. FV 10724 Hybridní lokomotiva a elektronická optimalizace energetiky jejího provozu.

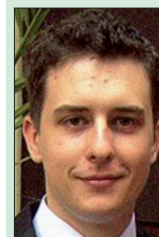
Recenze: prof. Ing. Jiří Lettl, CSc.

Literatura:

- [1] POHL, J. Experiment hybridní posun. *Elektronika*. 1987, (7).
- [2] TAGUCHI, Yoshiaki, Satoshi KADOWAKI, Takayuki NAKAMURA, Masaki MIKI, Kenji HATAKEDA a Yoshimasa ARITA. Development of a Traction Circuit for Battery-powered and AC-fed Dual Source EMU and Running Test Evaluation of the On-board Battery Performance. *Quarterly Report of RTRI*. Railway Technical Research Institute, 2015, 2015(56), 98–104. DOI: <http://doi.org/10.2219/rtriqr.56.98>.
- [3] GIRARD, H., J. OOSTRA a J. NEUBAUER. *Hybrid shunter locomotive*. Dostupné z: <http://www.railway-research.org/IMG/pdf/r.2.2.3.1.pdf>
- [4] Firemní materiály CZ LOKO, a. s.
- [5] Firemní materiály EVC Group, s. r. o.
- [6] Firemní materiály National Instruments.



Prof. Ing. Jaroslav Novák, CSc., ukončil studium na Fakultě elektrotechnické ČVUT v Praze v oboru silnoproudá elektrotechnika v roce 1989. V roce 1992 ukončil studium ve vědecké výchově na téže fakultě na Katedře elektrických pohonů a trakce. Od roku 1992 pracoval jako odborný asistent, od roku 2003 jako docent v Ústavu přístrojové a řídicí techniky Fakulty strojní ČVUT v Praze. V letech 1995 až 2001 spolupracoval s firmou Elektrosystém Praha, s. r. o., v oblasti vývoje a využití elektrických pohonů a řídicích systémů v průmyslových aplikacích. Od roku 2011 pracuje jako profesor na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice a nadále úzce spolupracuje s Fakultou strojní ČVUT v Praze. Svou odbornou činnost zaměřuje zejména do oblastí elektrických pohonů, výkonové elektroniky, elektrické trakce, mikroprocesorového řízení a elektromobility.



Ing. Ondřej Sadílek, Ph.D., úspěšně dokončil magisterské studium v oboru elektrotechnická zařízení v dopravě na Dopravní fakultě Jana Pernera Univerzity Pardubice v roce 2013.

V roce 2017 úspěšně ukončil doktorské studium v oboru dopravní prostředky a infrastruktura na Katedře elektrotechniky, elektroniky a zabezpečovací techniky v dopravě téže univerzity. Od roku 2015 je na této katedře odborným asistentem. Během doktorského studia absolvoval dvouměsíční odbornou pracovní stáž v Irsku. Odborně se zaměřuje na oblasti akumulátorů elektrické energie a jejich battery managementu, elektronických napájecích zdrojů a elektronických obvodů.



Ing. Zdeněk Novák úspěšně dokončil magisterské studium v oboru přístrojová a řídicí technika na Fakultě strojní ČVUT v Praze v roce 2012. Od roku 2015 je v Ústavu přístrojové a řídicí techniky VŠ asistentem, zatímco dokončuje svou doktorskou práci na téma Bezsenzorové řízení vysokorychlostních synchronních motorů s permanentními magnety. Kromě tématu své doktorské práce se dále odborně zaměřuje na vektorové řízení elektrických strojů a adaptivní filtraci signálů, a to za pomoci implementace na FPGA.